Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 6, Feb.-Mar. 2025, p. 733-747

Evaluation of Nutritional Status of Sugarcane Fields in North of Khuzestan Province Using the Compositional Nutrient Diagnosis Method

A. Neisi[1], M. Chorom[2*], H. Ghafari[3], J. Alkasir[4]

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.chorom@scu.ac.ir)
4- Assistant Professor, Sugarcane and Sideline Industries Development Project of Ahvaz, Khuzestan, Iran

Received: 02-12-2024
Revised: 06-01-2025
Accepted: 12-01-2025
Available Online: 12-01-2025

How to cite this article:
Neisi, A., Chorom, M., Ghafari, H., & Alkasir, J. (2025). Evaluation of nutritional status of sugarcane fields in north of Khuzestan Province using of compositional nutrient diagnosis method. *Journal of Water and Soil, 38*(6), 733-747. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2025.91029.1452

Introduction

Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is a perennial plant belonging to the cereal family. Sugarcane is a major agricultural crop cultivated extensively in tropical and subtropical regions worldwide. Its phenological growth cycles lead to changes in the plant's nutritional requirements. Understanding these changes requires comprehensive knowledge of the plant's growth stages, as well as the decomposition processes of soil and plant leaves throughout these stages. The availability of nutrients required by the plant during the growth stages of the plant is one of the key points of normal plant growth, therefore, plant nutrition management plays a significant role in achieving optimal performance. Considering these changes, the leaf analysis and diagnosis method can prevent the limitations caused by plant nutritional disorders and the optimal use of fertilizers required in sugarcane cultivation. The combined nutrient detection (CND) method is one of the appropriate methods in interpreting the results of plant nutrient analysis, nutrient requirements and nutritional balance status in plants. Performing leaf sample analysis is an effective approach to monitor and assess the nutritional status of sugarcane. Given that sugarcane may have a multi-year cycle, this method provides a reliable indicator for assessing the nutritional needs of the crop during its cultivation period. One of the effective methods for assessing nutritional limitations in sugarcane is through the CND method. This method provides the advantage of quickly delivering up-to-date standards while identifying specific nutrients responsible for nutritional imbalances that may reduce productivity. Additionally, it enables the detection of limitations caused by deficiencies and excesses, indicated by negative and positive indices, respectively. The aim of this study was to determine the order of limitation for nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, copper, iron, manganese, and zinc using the CND in the commercial sugarcane variety CP69-1062 grown in ratoon farms. In the northern Khuzestan farms, which have the potential for higher sugarcane production, nutritional limitations may still restrict productivity.

Materials and Methods

The present study was conducted in ratoon sugarcane fields in the Shuaibih area of Imam Khomeini sugarcane cultivation and industry. The objective of this study was to examine the impact of fertilization management and assess nutrient balance in the commercial sugarcane variety CP69-1062 grown in ratoon farms. To achieve this, 25 farms were selected during the 2023-2024 crop year. The concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, manganese, zinc, and copper were analyzed in the leaves of the sugarcane plants. After the harvest season, the yield of each field was measured and recorded. The intermediate yield, obtained using the

https://doi.org/10.22067/jsw.2025.91029.1452

Khayari method, allowed the farms to be divided into two groups based on whether the yield was favorable or unfavorable. Subsequently, CND reference numbers, CND nutrient index and nutrient balance index (r^2) were calculated. This index was calculated using the Keith-Nielson method, based on the Chi-square statistical distribution function (K^2) in Excel software.

Results and Discussion

The results of the cumulative distribution function of the variance of nutrients, with an intermediate yield of 99 tons per hectare, indicate that 52% of the studied ratoon sugarcane farms were in the high yield group and 48% were in the low yield group. After solving the equations of the cumulative function of the third order of the studied nutrients, the nutrient balance index values were found to fall within the range of (2.62 to 20.58) in the optimal performance group, with an average value of 109.28 tons per hectare. The highest value of this index (r^2 = 199.95) was observed in the Raton sugarcane field, with a yield of 73.08 tons per hectare. The CND reference numbers of the evaluated nutrients and remaining compounds were as follows: V*N= 2.87, V*P= 1.04, V*K= 2.64, V*Ca =1.95, V*Mg =1.29, V*Fe = -1.75, V*Mn = -3.35, V*Zn = -4.72, V*Cu = -3. 92, and V*Rd = 4.13. The index of CND nutrients showed that copper and iron had the highest negative index among micronutrients in the group of low-yielding ratoon sugarcane fields. The presence of calcareous conditions in the soil of the studied fields can be one of the reasons for this observation.

Conclusion

The CND nutrient balance index (r^2) was positive, especially in low-yielding ratoon sugarcane fields, and much higher than its value in high-yielding fields, which indicates nutritional imbalance in these fields. Proper management and balanced use of fertilizers should be considered. It can improve yield and growth cycle of sugarcane.

Keywords: Nutrient balance index, Nutritional restriction, Ratoon sugarcane, Yield

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۶، بهمن-اسفند ۱۴۰۳، ص. ۷۴۷-۷۳۳

ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای نیشکر اراضی شمال استان خوزستان با استفاده از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND)

عادل نیسی[۱]- مصطفی چرم[۲*]- حیدر غفاری[۳]- جعفر آل کثیر[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

چکیده

چرخه‌های رشد فنولوژیکی نیشکر باعث تغییرات در نیازهای غذایی گیاه می‌شود، بنابراین تشخیص این امر مستلزم آگاهی کامل از مراحل رشد گیاه و تجزیه خاک و برگ گیاهان در مراحل رشدی می‌باشد. قابلیت دسترسی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در مراحل رشدی گیاه از نکات کلیدی رشد نرمال گیاهان می‌باشد به همین دلیل مدیریت تغذیه گیاه در دست‌یابی به عملکرد مطلوب نقش بسزایی دارد. با توجه به این تغییرات، روش تجزیه و تشخیص برگ می‌تواند از محدودیت های ناشی از اختلالات تغذیه ایی گیاهان و مصرف بهینه کودی مورد نیاز در کشت نیشکر جلوگیری کند. روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) یکی از روش‌های مناسب در تفسیر نتایج تجزیه عناصر غذایی در گیاه، نیازهای عناصر غذایی و وضعیت تعادل تغذیه‌ای در گیاهان می‌باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای نیشکر با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی در ۲۵ مزرعه نیشکر بازروئی با واریته CP69-1062 و مساحت کل ۵۴۱ هکتار در کشت و صنعت نیشکر امام خمینی شمال خوزستان و تعیین ترتیب محدودیت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، مس، آهن، منگنز و روی بود که عملکرد نیشکر را از لحاظ تغذیه‌ای محدود می‌کنند. پایگاه داده شامل غلظت عناصر غذایی برگ نیشکر و عملکرد مزارع است که با جمع‌آوری نمونه‌های مرکب برگ نیشکر در شهریور ماه ۱۴۰۲ و انجام آنالیز، همچنین مشخص شدن عملکرد هر مزرعه پس از پایان برداشت، تشکیل شد. با استفاده از روش CND و تعیین اعداد مرجع و براساس تابع توزیع تجمعی واریانس، عملکرد ۹۹ تن در هکتار نیشکر بعنوان عملکرد میانی مشخص شد در نتیجه مزارع نیشکر مورد مطالعه به دو گروه عملکردی مطلوب و نامطلوب تقسیم شدند. سپس شاخص‌های عناصر غذایی محاسبه و براساس آن اولویت‌بندی نیاز عناصر غذایی به‌ترتیب Cu>Fe>Zn>Mg>Mn>Ca>K>P>N مشخص گردید. میانگین شاخص تعادل تغذیه ای (r^2) در مزارع گروه عملکردی نامطلوب (۸۴/۶۲) بود که نشان دهنده عدم تعادل تغذیه‌ای در این مزارع است. بنابراین از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی CND می‌توان برای شناسایی محدودیت‌های تغذیه‌ای که مسئول عدم تعادل تغذیه‌ای هستند و می‌تواند منجر به بهره‌وری پایین نیشکر شود، استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص تعادل عناصر غذایی، عملکرد، محدودیت تغذیه‌ای، نیشکر بازروئی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.chorom@scu.ac.ir)
۴- استادیار، طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی اهواز، خوزستان، ایران

https://doi.org/10.22067/jsw.2025.91029.1452

مقدمه

نیشکر با نام علمی (.*Saccharum officinarum* L) گیاهی چند ساله از تیرهٔ غلات یک محصول کشاورزی مهم است که در بسیاری از مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان کشت می‌شود (Salman *et al*., 2023). در شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان پنج رقم تجاری با سطوح مختلف در اراضی زراعی به زیر کشت می‌روند که از بین این ارقام، رقم CP69-1062 واریته تجاری متداول بوده و بیشترین سطح زیر کشت در اراضی نیشکر را به خود اختصاص داده است (Jamnani *et al*., 2019). سیستم زراعت نیشکر به دو دسته مزارع کشت اول[1] و مزارع بازروئی[2] تقسیم‌بندی می‌شود. مزارعی که در سال اول کشت می‌شوند، مزارع کشت اول یا پلنت با دوره رشد (۱۸ تا ۲۱ ماه) و سنین بعدی، مزارع بازروئی با دوره رشد (۸ تا ۱۲ ماه) نامیده می‌شوند (Zhao *et al*., 2014). مدیریت کوددهی مرسوم در کشت و صنعت نیشکری شمال خوزستان بدین‌صورت که در مزارع کشت ۱- کود فسفاته (سوپرفسفات تریپل) ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار ۲- کود آلی کمپوست (بقایای نیشکر) ۳۵-۴۰ تن در هکتار و ۳- کود نیتروژنی (اوره) – ۴۰۰ کیلوگرم درهکتار بوده اما در مزارع بازروئی فقط از کود نیتروژنی (اوره) – ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تجزیه نمونه برگ برای پایش و ارزیابی وضعیت تغذیه نیشکر مناسب است. نیشکر یک چرخه چندین ساله ممکن است داشته باشد و در پایش تغذیه، شاخص مناسبی برای ارزیابی نیازهای غذایی محصول در طول سال‌های کشت دارد (Silva *et al*., 2020). بنابراین، تجزیه نمونه برگ تکمیل کننده آنالیز شیمیایی خاک است و امکان پیش‌بینی اختلالات تغذیه‌ای را قبل از ظهور علائم بصری در بافت گیاه فراهم می‌کند (Prado & Cayon, 2012). تجزیه نمونه برگ می‌تواند از محدودیت‌های ناشی از کمبود و بیش بود عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن (N) جلوگیری کند که باعث کاهش قطر ساقه و کاهش پنجه‌زنی در کمبود آن می‌شود. با این حال، بیش ازحد بودن نیتروژن باعث تیره شدن رنگ سبز برگ‌ها، شاخ و برگ فراوان، خوابیدگی ساقه، تأخیر در رسیدگی کیفی و سیستم ریشه به سختی توسعه می‌یابد (Prado, 2020). همچنین، عناصر کم‌مصرفی مانند مس (Cu) می‌توانند به‌دلیل مازاد تغذیه‌ای در نیشکر محدودیت ایجاد کنند که با پنجه‌زنی کمتر و ضخیم شدن ریشه مشخص می‌شود. تغییرپذیری در محدودیت تغذیه‌ای نیشکر به‌دلیل چرخه‌های رشد فنولوژیکی به نام نیشکر-کشت اول و نیشکر-بازروئی رخ می‌دهد که تغییراتی را در تولید ماده خشک بین چرخه‌های تولید ایجاد می‌کند، که به نوبه خود نیازهای تغذیه‌ای متفاوتی را فراهم می‌کند (Segato *et al*., 2006).

رایج‌ترین روش ارزیابی وضعیت عناصر غذایی مقایسه غلظت‌های عناصر غذایی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های گیاهی با اعداد مرجع غلظت‌های بحرانی یا دامنه‌های کفایت، مربوط به گیاه مورد نظر می‌باشد. در این روش، تنها به غلظت تک تک عناصر تأکید می‌گردد و تعادل تغذیه‌ای مورد توجه قرار نمی‌گیرد (de Mello Prado & Rozane, 2020). اما در این روش اثرات متقابل عناصر در درون محدوده‌های وسیع غلظت‌ها مستتر است و قابل تفکیک نیستند (Parent & Dafir, 1992). روش‌های جدید ارزیابی وضعیت عناصر غذایی گیاهان مانند DOP[3]، DRIS[4] و CND[5] امروزه به‌صورت کمی در آمده است در روش DOP برای بررسی عدم تعادل تغذیه از روابط میان غلظت عنصر غذایی و مقدار اعداد مرجع آن استفاده می‌شود (Montanes *et al*., 1993; Martin *et al*., 2014). در روش DRIS با در نظر گرفتن فرم‌های بیان دو عنصری تا حدود زیادی اثرات متقابل عناصر منظور گردیده است. روش DRIS با در نظر گرفتن نسبت دو عنصری ولی روش CND با در نظر گرفتن نسبت یک عنصر به همه عناصر اثرات متقابل عناصر را بیان می‌کند (Parent & Dafir, 1992). با توجه به برتری و مزیت روش هر کدام از روش‌ها، یکی از مدل‌های ارزیابی محدودیت تغذیه‌ای در نیشکر، می‌تولند با استفاده از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND) انجام شود (Calheiros *et al*., 2018). روش CND دارای مزلیایی است که علاوه بر دریافت سریع استانداردهای به‌روز، می‌توان عناصر غذایی مسئول عدم تعادل تغذیه‌ای و در نتیجه بهره‌وری پایین را شناسایی کرد. با این حال، می‌تواند محدودیت‌های ناشی از کمبودها، بیش بودها که به‌ترتیب توسط شاخص‌های منفی و مثبت شناسایی می‌شوند را شناسایی کند (Nowaki *et al*., 2017). روش CND مبتنی بر روابط تبدیل شده بین تک تک عناصر غذایی مورد ارزیابی و میانگین هندسی تمام عناصر غذایی بافت نمونه‌برداری شده است که در واقع یک روش چند متغیره برای تجزیه و تحلیل روابط همه عناصر غذایی با هم است. ایده اولیه این روش برگرفته از تجزیه و تحلیل داده‌های ترکیبی (CDA) است که یک داده را به‌صورت کمی و نسبت به کل توصیف می‌کند (Parent & Dafir, 1992). مطالعات زیادی در مورد

1- Plant
2- Ratoon
3- Deviation from the optimal percentage
4- Diagnosis and Recommendation Integrated system
5- Compositional Nutrient Diagnosis

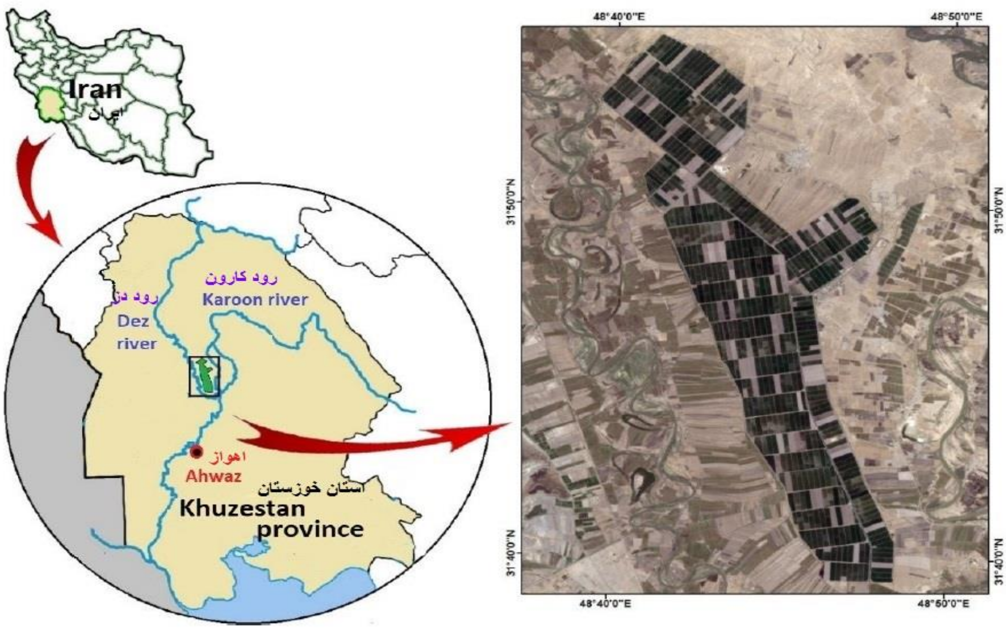
مدیریت عناصـــر غذایی در گیاهان مختلف با روش¬های متفاوتی همچون CND انجام شـــده اســـت اما این مطالعات در ارتباط با گیاه نیشکر در ایران انجام نشده و در جهان محدود می¬باشد. از جمله این مطالعات که به روش تشـــخیص چند گانه عناصـــر صـــورت گرفته، مطالعه¬ای توسط کالهیروس و همکاران (Calheiros *et al.*, 2018) در شـمال شـرقی ایالت آلاگواس و مطالعه دیگری توسـط داسـیلوا و همکاران (da Silva *et al.*, 2021) در ایالت سائوپائولو برزیل برروی عناصـــر غذایی نیشـــکر نشـــان دادند روش CND یکی از روش‌هایی می‌باشـد که برای شـناسـایی عدم تعادل¬های تغذیه¬ای که منجر به کاهش عملکرد نیشکر می¬شود، بسیار ارزشمند است.

بنابراین، این پژوهش به‌منظور بررســـی اثر مدیریت کوددهی و ارزیابی وضــعیت تعادل عناصــر غذایی در گیاه نیشــکر واریته تجاری CP69-1062 مزارع بازروئـــی که بیشترین سطح زیر کشت در مزارع شمال خوزستان، شرکت کشت و صنعت امام خمینی(ره) را داراست، با استفاده از روش CND (تشـخیص چندگانه عناصر غذایی) انجام شد. در این زمینه، هدف تعیین ترتیب محدودیت عناصـــر غذایی نیتروژن، فسـفر، پتاسـیم، کلسـیم، منیزیم، مس، آهن، منگنز و روی بود که در صـــورت مصـــرف نامتعادل در مدیریت کوددهی عملکرد یا بهره‌وری مزارع نیشکر راتون را محدود می‌کنند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزارع نیشکر راتون یا سال دوم به بعد (بازروئی) در منطقه شعیبیه کشت و صنعت نیشکر امام خمینی(ره) واقع در ۳۱ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه شـمالی و ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۸ دقیقه شـرقی بین رودخانه‌های شـطیط (شـاخه‌ای از کارون) و دز در ۳۰ کیلومتری جنوب شـهرسـتان شـوشـتر به مسـاحت تقریبی ۱۵۳۰۰ هکتار واقع شده‌است، که از شمال به تپه‌های شمالی دشت شعیبیه و از غرب به رودخانه دز و از شـــرق به رودخانه شطیط و از جنوب به واحد دهخدا محدود شـده اسـت. طول ابعادی این واحد حدود ۳۴ کیلومتر و عرض آن حداقل ۵ و حداکثر ۱۵ کیلومتر اســـت (شکل ۱).

در این پژوهش، تعداد ۲۵ مزرعه با واریته CP69-1062 از مزارع نیشـکر بازروئی با مسـاحت کل ۵۴۱ هکتار انتخاب شـد و نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر بصورت نمونه مرکب از هر مزرعه مورد مطالعه جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک صـــورت پذیرفت. نمونه‌های خاک، هواخشک شده و به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. قابلیت هدلیت الکتریکی خاک در عصـــاره گل اشـــباع (Rhoades, 1996)، بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee & Bauder, 1982) و مقدار کربن آلی با اســتفاده از روش اکســیداســیون تر (Nelson & Sommers, 1996) اندازه‌گیری شــد. نیتروژن کل به روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982) و غلظت فسفر قابل جذب خاک به روش اســـتخراج با بیکربنات ســـدیم (Olsen *et al.*, 1954) عصاره‌گیری و غلظت آن به روش رنگ‌سنجی (Murphy & Riley, 1962) و با اسـتفاده از دسـتگاه اسـپکتروفتومتر (HACH DR 3900) اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزارع نیشکر مورد مطالعه

Table 1- Soil characteristics of the studied sugarcane fields

ویژگی Property	واحد Unit	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation
هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع Electrical conductivity of saturated flower extract	dS m^{-1}	2.05	1.25	1.60	0.26
پ هاش عصاره گل اشباع pH of Saturated flower extract	-	7.87	7.47	7.66	0.11
درصد اشباع Saturation Percentage	٪	62.40	46.90	56.25	3.65
شن Sand	٪	41.40	5.50	12.75	9.33
سیلت Silt	٪	55.50	38.60	47.37	4.16
رس Clay	٪	50.00	33.00	39.88	7.73
کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	٪	38.70	33.00	36.28	1.82
کربن آلی Organic carbon	٪	0.98	0.65	0.79	0.13
نیتروژن Nitrogen	٪	0.09	0.06	0.08	0.01
فسفر قابل جذب Phosphorus	mg kg^{-1}	9.79	3.18	6.66	2.34
پتاسیم قابل جذب Potassium	mg kg^{-1}	222.3	120.9	156.0	33.49
کلسیم Calcium	mg kg^{-1}	424.0	152.0	276.8	1.49
منیزیم Magnesium	mg kg^{-1}	177.39	48.6	83.35	1.37
آهن Iron	mg kg^{-1}	36.70	3.08	15.88	7.70
روی Zinc	mg kg^{-1}	16.78	0.66	6.51	4.72
مس Copper	mg kg^{-1}	5.55	1.14	3.91	1.26
منگنز Manganese	mg kg^{-1}	52.56	9.02	23.26	13.66

درصد آهک یا کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون اندازه‌گیری شد (Nelson, 1982). غلظت پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Helmke & Sparks, 1996) و با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (BWB Technologies) همچنین غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، منگنز، روی و مس) به روش عصاره‌گیری با DTPA ۰/۰۰۵ مولار و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج AAS اندازه‌گیری شد (Lindsay & Norvell, 1978) (جدول ۱).

سپس برای ایجاد پایگاه داده جهت استفاده از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی و به‌منظور تجزیه برگی، نمونه‌برداری بافت برگ براساس روش نمونه‌برداری ارائه شده توسط مک کری و میلاواراپو مؤسسه تحقیقات و آموزش کشاورزی دانشگاه فلوریدا (McCray & Mylavarapu, 2020) انجام شد. نمونه‌های برگ نیشکر در هفته اول شهریور و پس از گذشت دوره رشد حداکثری گیاه نیشکر یعنی زمانی که غلظت عناصر غذایی در گیاه نسبتاً ثابت باقی می‌ماند، تهیه گردید. البته در روش CND چون نسبت یک عنصر به همه عناصر بجای غلظت هر عنصر غذایی در نظر گرفته می‌شود بنابراین تفسیر نتایج تجزیه برگی به سن فیزیولوژیک و محل نمونه‌برداری بستگی ندارد (Parent & Dafir, 1992).




شکل ۲- موقعیت برگ کامل قابل مشاهده بالا (TVD Leaf) مورد نظر نمونه‌برداری

Figure 2- Total visible top leaf (TVD Leaf) position to be sampled



شکل ۳- مراحل آماده‌سازی نمونه برگ

Figure 3– steps of leaf sample preparation

در این روش جهت نمونه‌برداری برگ، در هر مزرعه ده نقطه مکان تعیین شد و از هر نقطه مکان ۱۰ نمونه برگ کامل قابل مشاهده (سومین برگ از بالا) گرفته شد (شکل ۲). در پایان یک نمونه مرکب برگ (تعداد ۱۰۰ برگ) تهیه شد. به‌منظور حذف ذرات خاک، ابتدا نمونه‌های برگ با آب مقطر شستشو داده شدند و پس از هواخشک نمودن آنها، حدود ۲۰ سانتی‌متر از قسمت میانی نمونه برگ‌ها را جدا کرده و رگبرگ اصلی آنها حذف شد. سپس درون آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا خشک شدند و در مرحله بعد با دستگاه آسیاب گیاه، آسیاب شده‌اند (شکل ۳). به‌منظور اندازه‌گیری N، P، K، Ca، Mg، Cu، Fe، Mn و Zn با

استفاده از روش توصیف شده توسط باتاگالیا و همکاران (Bataglia et al., 1983) انجام شد. بازده یا عملکرد مزارع منتخب در این طرح در فصل برداشت، با انجام برداشت مکانیزه توسط دستگاه دروگر نیشکر[1]، در پایگاه داده ثبت گردید.

مدل CND (روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی)

از اطلاعات بدست آمده با تجزیه و تحلیل شیمیایی محتویات برگ و عملکرد مزارع نیشکر راتون، پایگاه داده تشکیل شد. با استفاده از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی و پایگاه داده شامل عملکرد مزارع نیشکر و غلظت عناصر غذایی برگ، ابتدا مزارع براساس عملکرد و بصورت نزولی (زیاد به کم) مرتب شدند سپس به روش خیاری و همکاران (Khayari et al., 2001a) به‌ترتیبی که در ادامه ذکر شده است، به دو گروه عملکردی مطلوب و نامطلوب دسته‌بندی شده و با تعیین اعداد مرجع، ارزیابی وضعیت عناصر غذایی انجام شد. جهت محاسبه استانداردهای CND، ابتدا داده‌های اصلی غلظت عناصر به واحد یکسانی ($gr\ kg^{-1}$) تبدیل شده تا امکان مقایسه بین عناصر غذایی از واحدهای مختلف را فراهم کند (Pereira da Silva, & Justino Chiaia, 2021). سپس مقدار ترکیبات باقی‌مانده (R) برای هر نمونه از مزارع مورد مطالعه که مربوط به مکمل ماده خشک برای ۱۰۰۰ گرم است، با توجه به رابطه (۱) تعیین شد.

$$R = 100 - (VX1 + VX2 + \dots + VXi) \qquad (۱)$$

که در آن R ترکیبات باقی‌مانده یا مکمل ماده خشک برای ۱۰۰٪ ماده خشک؛ VX غلظت عناصر غذایی که در آن X غلظت هر یک از عناصر غذایی مورد ارزیابی در این پژوهش مانند (N, P, K, … , Zn) را نشان می‌دهد (Parent & Dafir, 1992).

سپس مراحل انجام محاسبه استانداردهای CND بترتیب معادلات زیر انجام گردید:

۱- میانگین هندسی عناصر غذایی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$G = [N.P.K \cdots R]^{\frac{1}{d+1}} \qquad (۲)$$

۲- نسبت لگاریت طبیعی عناصر از طریق روابط ذیل بدست آمد.

$$V_x = \log[x_i/g(x)] \qquad (۳)$$

$$V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right) \quad ,V_P = \ln\left(\frac{P}{G}\right) \quad ,$$

$$V_K = \ln\left(\frac{K}{G}\right) \quad ,\dots V_{Rd} = \ln\left(\frac{R}{G}\right)$$

$$V_N + V_P + V_K + V_R = 0 \qquad (۴)$$

نسبت لگاریتمی عناصر با V_X برای عناصر X نشان داده می‌شود. رابطه (۴) صحت محاسبات را تأیید می‌کند. مجموع ترکیبات گیاهی بر اساس ۱۰۰ است و مجموع نسبت لگاریتمی عناصر و ترکیبات باقیمانده (R) طبق تعریف صفر است. V_X وضعیت و نسبت عناصر غذایی در گیاه را برای عناصر مورد ارزیابی مانند N، P، K، R نشان می‌دهد.

به‌منظور محاسبه شاخص تک تک عناصر غذایی (I_x) برای دسته‌بندی مزارع براساس عملکرد به دو گروه (مطلوب و نامطلوب)، ابتدا با ترسیم نمودار بین عملکرد و تابع تجمعی نسبت واریانس شاخص‌های عناصر غذایی انجام شد. سپس با مشخص کردن نقطه عطف منحنی (Inflection point) عملکرد میانی بدست آمد. این کار براساس روش تجزیه واریانس کیت–نلسون که از دقت ریاضی مطلوبی برای جداسازی گروه‌های عملکردی برخوردار است، صورت پذیرفت. مراحل این فرآیند به شرح زیر است:

۱- ترتیب عملکردها از زیاد به کم است.

۲- نسبت لگاریتمی عناصر غذایی محاسبه می‌شود (V_X).

۳- واریانس مقادیر VX برای اولین عملکرد و برای سایر عملکردها محاسبه و نسبت واریانس آن‌ها بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود. این عمل برای دومین عملکرد و تا آخر انجام می‌شود.

$$F_i(V_x) = \frac{Variance V_x\ of\ n_1 observations}{Variance V_x\ of\ n_2 observations} \qquad (۵)$$

۴- تابع تجمعی نسبت واریانس نیز بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F_i^c = \frac{\sum_{i=1}^{n_1-1} f_i(V_x)}{\sum_{i=1}^{n-3} f_i(V_x)} \times 100 \qquad (۶)$$

۵- تابع تجمعی Fic (VX) مرتبط با عملکرد (Y) با الگوی درجه ۳ نشان داده می‌شود.

$$F_i^c(V_x) = aY^3 + bY^2 + cy + d \qquad (۷)$$

۶- نقاط عطف منحنی‌ها از طریق محاسبه مشتق درجه دوم معادلات محاسبه شد.

$$\frac{\partial F_i^c(V_x)}{\partial Y} = 3ay^2 + 2by + c \qquad (۸)$$

$$\frac{\partial^2 F_i^c(V_x)}{dY^2} = 6ay + 2b = 0 \qquad (۹)$$

عملکرد میانی که نشان‌دهنده یک نقطه میانی بین گروه‌های عملکرد مطلوب و نامطلوب است، از حل رابطه (۹) به‌صورت $-b/3a$ محاسبه شد. تخمین عملکرد میانی با استفاده از روش تابع تجمعی بر اساس واریانس نسبت لگاریتمی شاخص‌های عناصر غذایی داده شده در رابطه ۷ تعیین گردید. بنابراین عملکرد ۹۹ تن در هکتار به‌عنوان عملکرد میانی مرز تفکیک مزارع با عملکرد مطلوب و نامطلوب بدست آمده جهت تعیین اعداد مرجع عناصر غذایی مشخص شد. در مرحله بعد برای تعیین اعداد مرجع CND، غلظت عناصر در جامعه با عملکرد مطلوب به‌عنوان حد بحرانی یا هدف بهینه برای عناصر غذایی در نظر گرفته شد. این حدود بهینه با عملکرد متوسط در نقطه عطف منحنی تابع تجمعی واریانس نسبت لگاریتمی عنصر غذایی مربوطه مطابقت دارد. که معمولاً به‌صورت V*N، V*P، V*K و V*R نشان داده

1- sugarcane harvester

می‌شـــوند. اگر غلظت عناصــــر غذایی در گیاه مورد مطالعه با غلظت ایده‌آل یا مقادیر CND استاندارد شود، شاخص عنصر غذایی CND را می‌توان برای عناصر N ،P،K و R به شرح رابطه (۱۰) محاسبه کرد.

$$I_x = (V_x - V*_x)/SD*_x \quad (۱۰)$$

بطور مثال برای عناصر N و P:

$$I_P = (V_P - V_P^*)/SD_P^* \quad , \quad I_N = (V_N - V_N^*)/SD_N^*$$

عنصر K و عناصر باقی‌مانده:

$$I_R = (V_{Rd} - V_{Rd}^*)/SD_R^* \qquad I_K = (V_K - V_K^*)/SD_K^*$$

در این روابط V^*_N ، V^*_P ، V^*_K ، V^*_R ،SD^*_N ، SD^*_P ، SD^*_K ، SD^*_R به‌ترتیب میانگین و انحراف معیار نسـبت لگاریتمی عناصـر غذایی مزارعی می‌باشـند که به‌عنوان مرجع اسـتاندارد و یا ارقام مرجع CND محسوب می‌شوند. V_N،V_P ،V_K و V_R نسبت لگاریتمی مربوط به نمونه مزارع مطالعاتی است. I_N،I_P،I_K و I_R به‌ترتیب شاخص عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر باقیمانده هستند. در روش CND غلظت یک عنصر نسبت به میانگین هندسی کل عناصر مورد ارزیابی و ترکیبات باقی‌مانده در نظر گرفته می‌شـود (Parent & Daffir, 1992).

در روش CND شـاخص تعادل عناصـر غذایی r^2 با اسـتفاده از رابطه (۱۱) زیر محاسـبه می‌شـود، جایی که r^2 نشـان‌دهنده مجموع شـاخص‌های مجذور عناصـر غذایی اسـت و می‌تواند صفر، مسـاوی یا بزرگتر از صـفر باشـد. در تئوری، مقدار کمتر r^2 نشـان‌دهنده تعادل مطلوب‌تری از عناصر غذایی است (Ross, 1987).

$$r^2 = I^2N + I^2P + I^2K + \cdots + I^2R \quad (۱۱)$$

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل توصـــیفی داده‌ها برای تعیین ترتیب محدودیت عناصـــر غذایی N، P، K، Ca، Mg، Cu، Fe، Mn و Zn انجام شـــد. میانگین شـــاخص‌های مزارع با عملکرد مطلوب با اســـتفاده از روش CND (Parent, 2011) در این طرح در نظر گرفته شـد. کمبود، بیش بود و تعادل به‌ترتیب در سطوح منفی، مثبت و نزدیک به صفر شاخص CND شناسایی می‌شوند (Nowaki *et al*., 2017).

نتایج و بحث

با توجه به ویژگی‌های خاک نشـان داده شـده در جدول ۱ خاک مزارع مورد مطالعه دارای متوسط درجه شوری ۱/۶ $ds\ m^{-1}$ و متوسط اسیدیته ۷/۶۶ بوده که برای رشد گیاه نیشکر فاقد محدودیت می‌باشد. همچنین نتایج نشـــان داد که متفاوت بودن اجزاء بافت خاک (شـــن، سیلت و رس) برخی از مزارع دارای ۵۰ درصد رس و برخی مزارع دارای ۵ درصـد شـن نشـان‌دهنده وجود بافت متفاوت در مزارع مورد مطالعه است که می‌تواند روی عملکرد محصـول نیشکر تأثیرگذار باشد و در فراهمی و ایجاد تعادل بین عناصـــر غذایی اختلالاتی بوجود بیاورد. نتایج اندازه‌گیری درصـد ماده آلی خاک نشـان داد که اکثر مزارع مورد مطالعه خصـوصـاً مزارع با عملکرد کم از فقر ماده آلی برخوردار بوده است که این امر می‌تواند بدلیل اقلیم گرم منطقه و اکسیداسیون سریع ماده آلی خاک باشـــد. نتایج نشـــان داد که خاک مزارع مورد مطالعه دارای مقادیر بسـیار کمی از عناصـر کم‌مصـرفی اسـت که از عوامل تأثیرگذار بر روی عملکرد نیشکر است.

نتایج میانگین عناصـــر غذایی مورد ارزیابی حاصـــل از تجزیه نمونه‌های برگ نیشـکر در جدول ۲ نشـان داده شـده اسـت. به‌منظور برآورد عملکرد میانی و انجام ارزیابی و تفســیر نتایج غلظت عناصـــر غذایی برگ نیشـکر مزارع مورد مطالعه در مرحله اول با توجه به نتایج عناصر غذایی مورد ارزیابی بدست آمده، نقاط عطف (عملکرد حدواسط یا میانی) از حل مشتق دوم معادله درجه ۳ (رابطه ۹) محاسبه شد و در جدول ۳ گزارش گردید.

با توجه به جدول ۳ بیشــترین مقادیر عملکرد نیشــکر مربوط به عنصـــر آهن با مقدار ۱۱۷ تن در هکتار و عنصـــر نیتروژن برابر با ۱۰۸/۸۹ تن در هکتـار و کمترین مقـدار برابر ۷۸/۱۰ تن در هکتـار مربوط به عنصر منگنز بود. مقدار بدست آمده برای عنصر روی بالاتر از مقادیر عملکرد مزارع مورد مطالعه بوده که در محاســبه عملکرد میانی لحاظ نشده و حذف گردید. بر این اساس مقدار ۹۹ تن در هکتار نیشـــکر بعنوان عملکرد میـانی جهـت تفکیـک مزارع بـه دو گروه عملکردی مطلوب و نامطلوب در نظر گرفته شد.

جدول ۲- میانگین غلظت عناصر غذایی مورد ارزیابی در برگ مزارع نیشکر راتون مورد مطالعه

Table 2- Average concentration of evaluated nutrients in leaves of the studied Raton sugarcane fields

منگنز Manganese	مس Copper	روی Zinc	آهن Iron	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen
$mg\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	٪	٪	٪	٪	٪
58.95	4.25	113.96	202.36	0.34	0.23	0.63	0.13	1.67

جدول ۳- برآورد عملکرد میانی (نقطه عطف) براساس روش توابع تجمعی نسبت واریانس لگاریتمی عناصر غذایی $F_i^c(V_x)$

Table 3- Estimation of intermediate performance (turning point) based on cumulative functions method of logarithmic variance ratio of food elements

عناصر غذایی Nutrients	معادله درجه ۳ *Fic(VX)=aY³+bY²+cY+d*	R^2	نقطه عطف (-b/3a) Ton ha^{-1}
نیتروژن Nitrogen	y = -0.0052x3 + 1.6987x2 - 183.82x + 6623.7	0.88	108.89
فسفر Phosphorus	y = 0.0012x3 - 0.2956x2 + 20.46x - 243.71	0.96	82.11
پتاسیم Potassium	y = 0.0018x3 - 0.4662x2 + 34.277x - 588.23	0.93	86.33
کلسیم Calcium	y = -0.007x3 + 2.2525x2 - 239.57x + 8466.7	0.86	107.26
منیزیم Magnesium	y = 0.0021x3 - 0.5832x2 + 49.371x - 1196.3	0.97	92.57
آهن Iron	y = -0.0022x3 + 0.7722x2 - 90.552x + 3545.1	0.89	117.00
روی Zinc	y = -0.0002x3 + 0.1392x2 - 25.526x + 1344.3	0.98	232.00
مس Copper	y = -0.0074x3 + 2.3684x2 - 251.97x + 8899.2	0.87	106.68
منگنز Manganese	y = 0.0007x3 - 0.164x2 + 8.0432x + 141.9	0.97	78.10
ترکیبات باقی‌مانده R	y = -0.0052x3 + 1.7082x2 - 185.45x + 6698.4	0.95	109.50

سپس در مرحله بعد با ترسیم نمودار تابع تجمعی نسبت واریانس در مقابل عملکرد مزارع برای تک تک عناصر غذایی مورد ارزیابی در این پژوهش عملکرد میانی نیز مشخص گردید (شکل ۴). براساس نتایج بدست آمده جدول ۳ و شکل ۴ در تفکیک مزارع به دو گروه عملکردی ۱- مطلوب و ۲- نامطلوب مشخص شد که ۱۳ مزرعه از ۲۵ مزرعه مورد مطالعه یعنی ۵۲ درصد مزارع نیشکر راتون از عملکرد مطلوبی برخوردار بوده و ۴۸ درصد مزارع یعنی ۱۲ مزرعه در گروه عملکردی نامطلوب قرار گرفتند.

محاسبه اعداد مرجع CND

در روش تشخیص چند گانه عناصر غذایی، غلظت عناصر غذایی در مزارع با عملکرد مطلوب به‌عنوان حد بهینه در نظر گرفته می‌شود (Khiari *et al.*, 2001a). در نتیجه با در نظر گرفتن عملکرد میانی (۹۹/۰ تن در هکتار) و تفکیک مزارع به دو گروه عملکردی، براساس غلظت عناصر مزارع گروه عملکردی مطلوب اعداد مرجع محاسبه شده (V*x) در این پژوهش در جدول ۴ نشان داده است.

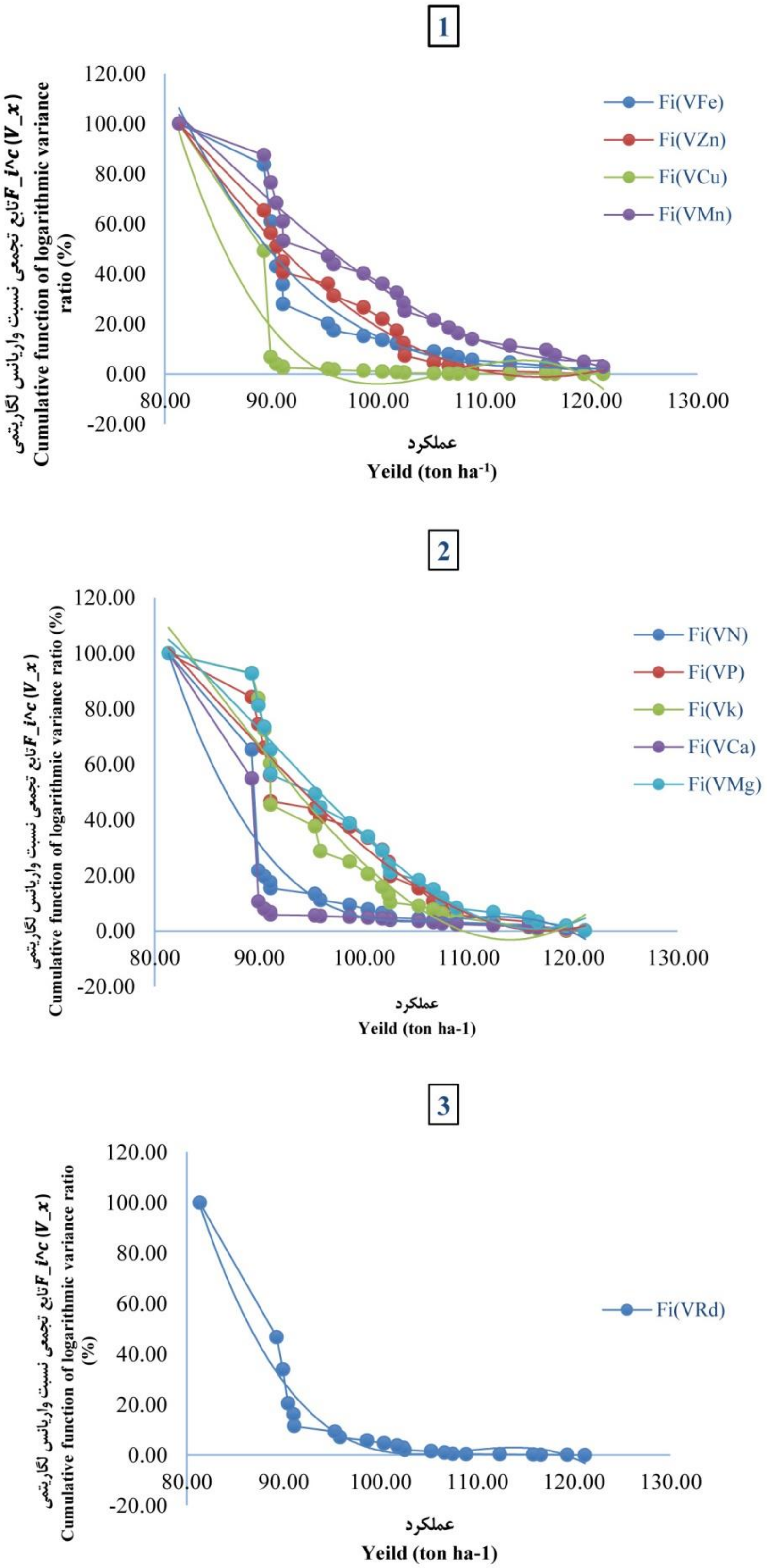
اعداد مرجع CND حاصل اثرات متقابل عناصر غذایی و تحت شرایط محیطی متفاوت بوده و براساس آن‌ها شاخص عناصر غذایی محاسبه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، میانگین بهینه غلظت عناصر مزارع گروه عملکردی مطلوب و نامطلوب در جدول ۵ گزارش شده است.

به‌منظور ارزیابی وضعیت تغذیه‌ایی مزارع نیشکر راتون، شاخص CND برای تک تک عناصر غذایی با بدست آوردن اعداد مرجع، براساس رابطه (۱۰) نیز محاسبه شد. با توجه به نتایج بدست آمده از میان شاخص‌های CND در مزارع با عملکرد نامطلوب، اولویت‌بندی نیاز عناصر غذایی به‌ترتیب Cu>Fe>Zn>Mg>Mn>Ca>K>P>N می‌باشد (شکل ۵).

جدول ٤- محاسبه اعداد مرجع CND

Table 4- Calculation of CND reference numbers

اعداد مرجع CND	V*R	V*Mn	V*Zn	V*Cu	V*Fe	V*Mg	V*Ca	V*K	V*P	V*N
میانگین Mean	4.13	-3.53	-4.72	-3.92	-1.75	1.29	1.95	2.64	1.04	2.87
انحراف معیار Standard deviation	0.07	0.04	0.04	0.10	0.02	0.08	0.05	0.08	0.07	0.08



شکل ٤– ۱، ۲ و ۳ نمودار تابع تجمعی نسبت واریانس لگاریتمی عناصر غذایی و ترکیبات باقی مانده در مقابل عملکرد محصول نیشکر

Figure 4- 1, 2 & 3 Cumulative function diagram of the logarithmic variance ratio of food elements and remaining compounds against sugarcane yield

جدول ۵- مقایسه غلظت عناصر غذایی مورد ارزیابی مزارع نیشکر راتون (F) در دو گروه عملکردی مطلوب (A) و نامطلوب (B)

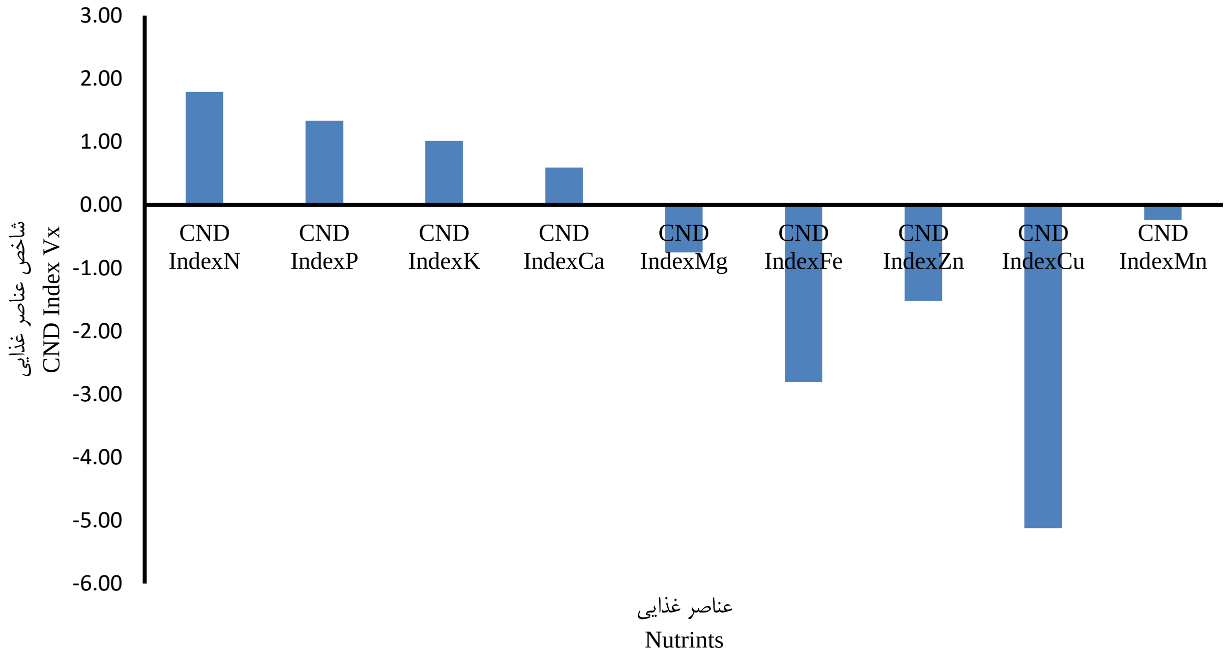
Table 5- Table 5- Comparison of nutrient concentrations evaluated in Ratoon sugarcane fields (F) in two performance groups: favorable (A) and unfavorable (B)

F	عملکرد Yeild	منگنز Manganese	مس Copper	روی Zinc	آهن Iron	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen
			mg kg^{-1}					٪		
A	109.28	27.169	8.238	18.538	160.550	0.336	0.655	1.297	0.264	1.648
B	87.35	23.667	5.908	14.025	133.500	0.280	0.593	1.238	0.257	1.675

سپس مقدار شاخص تعادل عناصر غذایی (r^2) استفاده از روش کیت- نلسون بر اساس تابع توزیع آماری کای اسکوئر (K^2) با درجه آزادی ۱ +d رابطه (۱۱) مشخص شد و نتایج آن در جدول ۶ گزارش شده است. براساس شکل ۵ بیش بود عناصر غذایی به‌ترتیب شدت عبارت است از: نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و کمبود عناصر غذایی به‌ترتیب شدت شامل: مس، آهن، روی، منیزیم و منگنز در این پژوهش تشخیص داده شد.

براساس نتایج جدول ۶ شاخص تعادل عناصر غذایی (r^2) نشان داد که مقدار عددی این شاخص با پایین آمدن مقدار عملکرد مزارع نیشکر نیز افزایش می‌یابد و هر چه مقدار عددی این شاخص بزرگتر باشد عدم تعادل عناصر غذایی را نشان می‌دهد در نتیجه عملکرد مزرعه کاهش می‌یابد اما هرچه این مقدار به سمت صفر میل داشته باشد تعادل عناصر غذایی برقرار بوده و مدیریت کوددهی را بر روی افزایش عملکرد اثرگذار نشان می‌دهد بطوری‌که این شاخص در مزارع گروه عملکردی مطلوب با میانگین ۱۰۹/۲۸ تن در هکتار در محدوده (۲/۲۶ تا ۲۰/۵۸) قرار داشته و بیشترین مقدار این شاخص (r^2 = 199.95) مربوط به مزرعه نیشکر با عملکرد ۷۳/۰۸ تن در هکتار است (شکل ۶).

نتایج پژوهشی انجام شده با مطالعات انجام شده به روش CND بر روی نیشکر در کشور برزیل توسط کالهیروس و همکاران (Calheiros *et al.*, 2018)، سیلوا، پرادو، وادت و کایون (Silva, Prado, Wadt, Moda, & Caione, 2020) همچنین داسیلوا و همکاران (da Silva *et al.*, 2021) نشان داد که مقدار شاخص تعادل عناصر غذایی در مدیریت‌های کودی مزارع نیشکر بیش از یک و مثبت بوده که نشان‌دهنده عدم تعادل عناصر غذایی است، مطابقت داشته و به نتایج مشابهی دست یافته است.



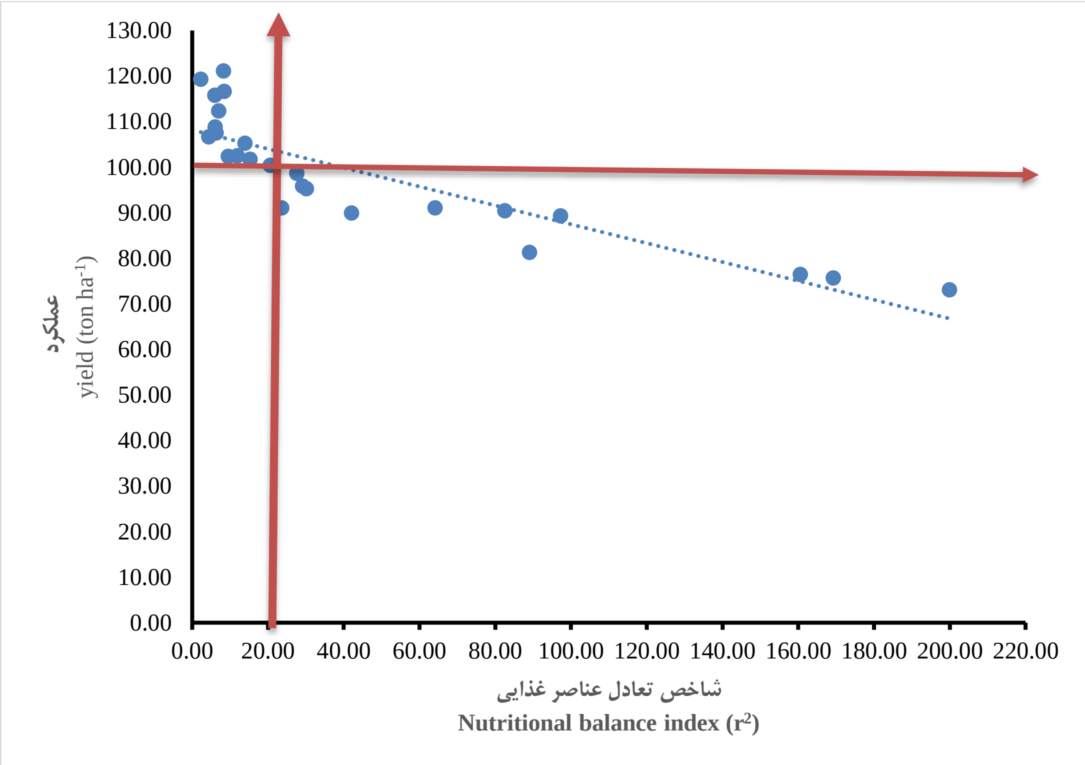
شکل ۵- میانگین شاخص‌های CND عناصر غذایی مزارع نیشکر راتون با عملکرد نامطلوب

Figure 5- The average CND indices of nutrients of Ratoon sugarcane fields with unfavorable yield

جدول ٦- شاخص عناصر غذایی CND در مزارع نیشکر راتون با عملکرد نامطلوب

Table 6- Index of CND nutrients in Raton sugarcane fields with unfavorable yield

عملکرد Yeild	CND IndexMn	CND IndexCu	CND IndexZn	CND IndexFe	CND IndexMg	CND IndexCa	CND IndexK	CND IndexP	CND IndexN	r^2
98.64	-0.87	-2.32	-1.25	1.97	-1.35	-1.68	2.75	1.47	0.00	**27.60**
95.85	-1.52	-4.07	-1.22	0.55	0.85	-0.22	-0.22	0.01	2.34	**29.18**
95.31	-0.61	-1.63	-0.70	-2.81	-2.18	-0.49	0.31	0.23	2.20	**30.17**
91.09	-0.75	-2.02	-0.85	0.43	0.06	-0.91	-1.68	0.82	0.48	**23.63**
91.04	-2.05	-1.56	-1.91	-6.59	2.14	-0.85	1.11	0.98	1.20	**64.12**
90.46	-0.93	-2.38	-1.55	-4.40	-2.83	-2.89	2.89	5.14	1.62	**82.56**
89.93	-0.09	-2.77	-0.61	-3.94	-2.04	0.61	0.96	-0.66	2.82	**42.07**
89.28	-0.12	-5.49	-1.59	-7.26	0.85	0.93	0.51	2.29	1.56	**97.27**
81.33	0.11	-7.05	-1.27	-0.96	-3.29	1.85	1.70	3.14	0.82	**89.05**
76.46	0.73	-10.63	-1.74	-2.91	-0.26	3.66	1.77	-1.14	2.74	**160.57**
75.69	1.00	-11.38	-2.47	-2.13	1.69	3.31	0.00	0.41	2.64	**169.26**
73.08	2.21	-10.15	-3.00	-5.59	-2.69	3.78	2.07	3.32	3.07	**199.95**



شکل ٦- میانگین شاخص های CND عناصر غذایی مزارع نیشکر راتون با عملکرد نامطلوب

Figure 6- The average CND indices of nutrients of Raton sugarcane fields with unfavorable yield

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که با توجه به آزمون خاک کمبود نیتروژن، ماده آلی، فسفر و عناصر کم‌مصرف وجود دارد اما از نظر پتاسیم از وضعیت مناسب‌تری برخوردار است. همچنین وجود درصد آهک بالا در خاک سبب تثبیت فسفر در خاک ها و کم شدن مقدار قابل جذب فسفر شده است. اما ارزیابی وضعیت عناصر غذایی نشان داد که با وجود عدم کاربرد کودهای پتاسیمی در مدیریت کوددهی و با اینکه این عنصر از عناصر پرمصرف در گیاه نیشکر محسوب می‌شود اما اولویت نیاز به این عنصر جزء اولویت‌های آخر است. بنابراین توصیه‌های کودی تنها به استناد ویژگی‌های خاک کافی نیست و انجام تجزیه برگ در شناسایی و جلوگیری از بروز علائم کمبودهای پنهان حائز اهمیت است. در این پژوهش عملکرد ۹۹/۰ تن در هکتار بعنوان عملکرد حدواسط برای تفکیک گروه‌های عملکردی مطلوب و نامطلوب در نظر گرفته شد که با انجام تحلیل به روش CND نیز تأیید شد و براساس آن ۵۲ درصد مزارع نیشکر راتون در گروه عملکردی مطلوب و ۴۸ درصد مزارع در گروه عملکردی نامطلوب قرار گرفته‌اند. میانگین عملکرد در کل مزارع نیشکر راتون ۹۸/۷۵ تن در

هکتار بوده و در مزارع گروه عملکردی مطلوب و نامطلوب به‌ترتیب ۱۰۹/۲۸ و ۸۷/۳۵ تن در هکتار بدست آمد. نتایج بدست آمده تا حدودی بیانگر مدیریت کوددهی نامتعادل بوده که با توجه به کار بردن دیگر منابع کودی می‌توان رشد و عملکرد مزارع نیشکر و افزایش چرخه آن را در منطقه بهبود بخشید. روش CND به‌دلیل لحاظ نمودن اثرات متقابل همه عناصر غذایی نسبت به روش‌های دیگر جامعیت بیشتری دارد. اعداد مرجع CND بدست آمده برای تشخیص اختلالات تغذیه‌ای و توصیه‌های کودی مورد قرار استفاده می‌گیرد و پیشنهاد می‌شود روش CND برای هر گیاه و منطقه مورد اعتبارسنجی قرار گیرد.

بطور کلی ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای نیشکر در اراضی شمالی استان خوزستان با استفاده از CND بینش قابل‌توجهی را در مورد نیازهای غذایی ضروری برای عملکرد بهینه محصول به‌دست آورده است. این مطالعه کمبود مواد مغذی خاص، به‌ویژه در درشت مغذی‌هایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین عناصر کم‌مصرف ضروری برای فرآیندهای متابولیک را نشان داد. این یافته‌ها بر ضرورت یک استراتژی مدیریت مواد مغذی متناسب با شرایط منحصر به فرد خاک و آب و هوای منطقه تأکید می‌کند. اجرای کوددهی هدفمند بر اساس تشخیص CND می‌تواند در دسترس بودن و جذب مواد مغذی را افزایش دهد و منجر به بهبود عملکرد و کیفیت نیشکر شود. علاوه بر این، روش CND کارایی خود را به‌عنوان یک ابزار تشخیصی قابل اعتماد نشان داده است که مداخلات به موقع و ترویج شیوه‌های کشاورزی پایدار را ممکن می‌سازد. تحقیقات آتی باید بر پایش بلندمدت و ادغام شیوه‌های بهداشتی خاک برای حفظ تعادل مواد مغذی و حمایت از انعطاف‌پذیری تولید نیشکر در استان خوزستان متمرکز شود. با اتخاذ این استراتژی‌های مبتنی بر شواهد، می‌توان بهره‌وری را بهینه کرد، از دوام اقتصادی اطمینان حاصل نمود و به توسعه پایدار صنعت نیشکر کمک کرد.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه (پژوهانه شماره SCU.AS1402.692) و از مدیریت محترم شرکت کشت و صنعت امام خمینی به خاطر پشتیبانی مالی در اختیار قرار دادن تمام امکانات لجستیکی و مزرعه ای تشکر و سپاسگزاری می شود.

References

1. Bataglia, O.C., Furlani, A.M.C., Teixeira, J.P.F., Furlani, P.R., & Gallo, J.R. (1983). Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agronômico. (Boletim Técnico, 78).
2. Bremner, J.M., & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen-Total. p. 595–622. In: Page A.L., Miller R.H., & Keeney D.R., (eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31
3. Calheiros, L.C., Freire, F.J., Moura Filho, G., Oliveira, E.C., Moura, A.B., Costa, J.V., & Rezende, J.S. (2018). Assessment of nutrient balance in sugarcane using DRIS and CND methods. *Journal of Agricultural Science*, *10*(9), 164-79. https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p164
4. da Silva, L.C., Freire, F.J., Filho, G.M., de Oliveira, E.C., Freire, M.B.G.D.S., Moura, A.B., & Rezende, J.S. (2021). Nutrient balance in sugarcane in Brazil: diagnosis, use and application in modern agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(14), 2167-2189. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1889591
5. de Mello Prado, R., & Rozane, D.E. (2020). Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits. *Fruit Crops*, 131-143. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00011-3
6. Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1982). Particle size Analysis. p. 404–408. In: Page, A.L., Miller R.H., & Keeney D.R., (eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
7. Helmke, P.A., & Sparks, D.L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods, 5, 551-574.
8. Rahimi Jamnani, M., Liaghat, A., & Sadeghi Loyeh, N. (2019). Sugarcane yield prediction at farm scale using remote sensing and artificial neural network. In 11th World Congress on Water Resources and Environment: Managing Water Resources for a Sustainable Future-EWRA 2019. Proceedings.
9. Khiari, L., Parent, L.E., & Tremblay, N. (2001a). The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. *Agronomy Journal*, *93*(4), 815-819. https://doi.org/10.2134/agronj2001.934815x
10. Lindsay, W.L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, *42*(3), 421-428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978. 03615995004200030009x
11. Martín, I., Romero, I., Domínguez, N., Benito, A., & García-Escudero, A. (2016). Comparison of DOP and DRIS methods for leaf nutritional diagnosis of *Vitis vinifera* L., Cv. Tempranillo. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *47*(3), 375–86. https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1123720
12. McCray, J.M., & Mylavarapu, R. (2020). Sugarcane Nutrient Management Using Leaf Analysis: SS-AGR-335/AG345, 2/2020. EDIS, 2020(11).

13. Montañés, L., Heras, L., Abadía, J., & Sanz, M. (1993). Plant analysis interpretation based on a new index: Deviation from optimum percentage (DOP). *Journal of Plant Nutrition*, *16*, 1289–308.
14. Murphy, J.A.M.E.S., & Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, *27*, 31-36.
15. Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods, 5, 961-1010.
16. Nelson, R.E. (1982). Carbonate and Gypsum. p. 181–196. In: Page A.L., Miller R.H., & Keeney D.R., (eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
17. Nowaki, R.H., Parent, S.É., Cecílio Filho, A.B., Rozane, D.E., Meneses, N.B., Silva, J.A., Natale, W., & Parent, L.E. (2017). Phosphorus over-fertilization and nutrient misbalance of irrigated tomato crops in Brazil. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 825. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00825
18. Olsen, S.R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.
19. Parent, L.E., & Dafir, M. (1992). A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *117*(2), 239-242.
20. Parent, L.-É. (2011). Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. *Revista Brasileira De Fruticultura*, *33*(1), 321–34. https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000100041
21. Pereira da Silva, G., & Justino Chiaia, H.L. (2021). Limitation due to nutritional deficiency and excess in sugarcane using the Integral Diagnosis and Recommendation System (DRIS) and Nutritional Composition Diagnosis (CND). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *52*(12), 1458 -1467.
22. Prado, R.M., & Caione, G. (2012). Plant analysis, *Soil Fertility*, 115–34. https://doi.org/10.5772/53388
23. Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods, 5, 417-435.
24. Ross, S.M. (1987). *Introduction to probability and statistics for engineers and scientists*. John Wiley & Sons, New York, NY.
25. Salman, M., Inamullah, Jamal, A., Mihoub, A., Saeed, M.F., Radicetti, E., & Pampana, S. (2023). Composting sugarcane filter mud with different sources differently benefits sweet maize. *Agronomy*, *13*(3), 748. https://doi.org/10.3390/agronomy13030748
26. Segato, S.V., A.S. Pinto, E., & Jendiroba, J.C.M. (2006). Nóbrega. *Atualização em produção de cana-de-açúcar*, 415. Piracicaba: PROL.
27. Silva, G.P., Prado, R.D.M., Wadt, P.G.S., Moda, L.R., & Caione, G. (2020). Accuracy of nutritional diagnostics for phosphorus considering five standards by the method of diagnosing nutritional composition in sugarcane. *Journal of Plant Nutrition*, *43*(10), 1485–97. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1730902
28. Zhao, D., Glaz, B., & Comstock, J.C. (2014). Physiological and growth responses of sugarcane genotypes to nitrogen N rate on a sand soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *200*, 290-301. https://doi.org/10.1111/jac.12084